

国立環境研究所ニュース

平成26年(2014)6月
Vol.33 No.2特集 アジアのE-wasteリサイクルを通じた
資源と有害物質の管理

マニラ近郊の路上でのテレビの解体作業（ジャンクショップの一種）

Contents

- 2 日本から見る、アジアのE-waste（廃電気電子機器）リサイクル
- 4 海外E-wasteリサイクル現場における
重金属および希少金属の環境中濃度と健康リスク
- 6 E-wasteリサイクル活動に伴う製品由来化学物質の
周辺環境への拡散と集積—ベトナムでの調査事例から—
- 10 製品中臭素系難燃剤の使用時及び廃棄後の挙動
- 12 持続可能な環境都市の構築に向けて
- 15 「春の環境講座」開催報告
- 16 「夏の大公開」開催のお知らせ



●特集 アジアのE-wasteリサイクルを通じた資源と有害物質の管理●

日本から見る、アジアのE-waste (廃電気電子機器) リサイクル

寺園 淳

アジアにおけるE-waste、すなわち廃電気電子機器のリサイクルが注目されて久しくなっています。不適正なリサイクルによる環境汚染がよく知られているためであり、世界中からE-wasteが集まる中国の広東省などでの汚染事例が最も有名で、NGOやマスコミによって時々報告されます。中国では地元の住民や政府による警戒感も強いために国外の研究者による調査は容易ではない一方で、その他のアジア諸国にも同様の状況は存在しながら十分把握されていないことから、私たちはフィリピンやベトナムなどで調査を進めています。このような問題に対して、私たちは日本からどのような点に気をつけねばならないかを考えます。

まず、日本を含む先進国の責任です。日本から使用済みの電気電子機器が何らかの形でアジア諸国に輸出されているのは事実です (図を参照)。これに

ついて、私たちは現状をよく理解した上で、廃棄物処理法やバーゼル法 (有害廃棄物の越境移動を規制するバーゼル条約の国内法) など私たちが持っている法律に沿って、輸出国として適切な対応を取らねばなりません。「何らかの形」というのは、中古品または金属スクラップとしての輸出のことを指しています。中古品であれば廃棄物ではなく、バーゼル法でも規制されません。実際にフィリピンなどでも日本の中古品のニーズは高く、適切に輸出入されれば国際的なリユースは環境にもよいことだと考えます。しかし、修理や再組立ての過程でジャンクショップ (部品や材料としての利用を行うジャンク品を取扱う店舗、零細事業者) との関わりがあって、健康と環境への悪影響を伴う作業や不正な模造品の生産につながるため適切な場合や、中古品が現地で最終的に廃棄される場合のことも本

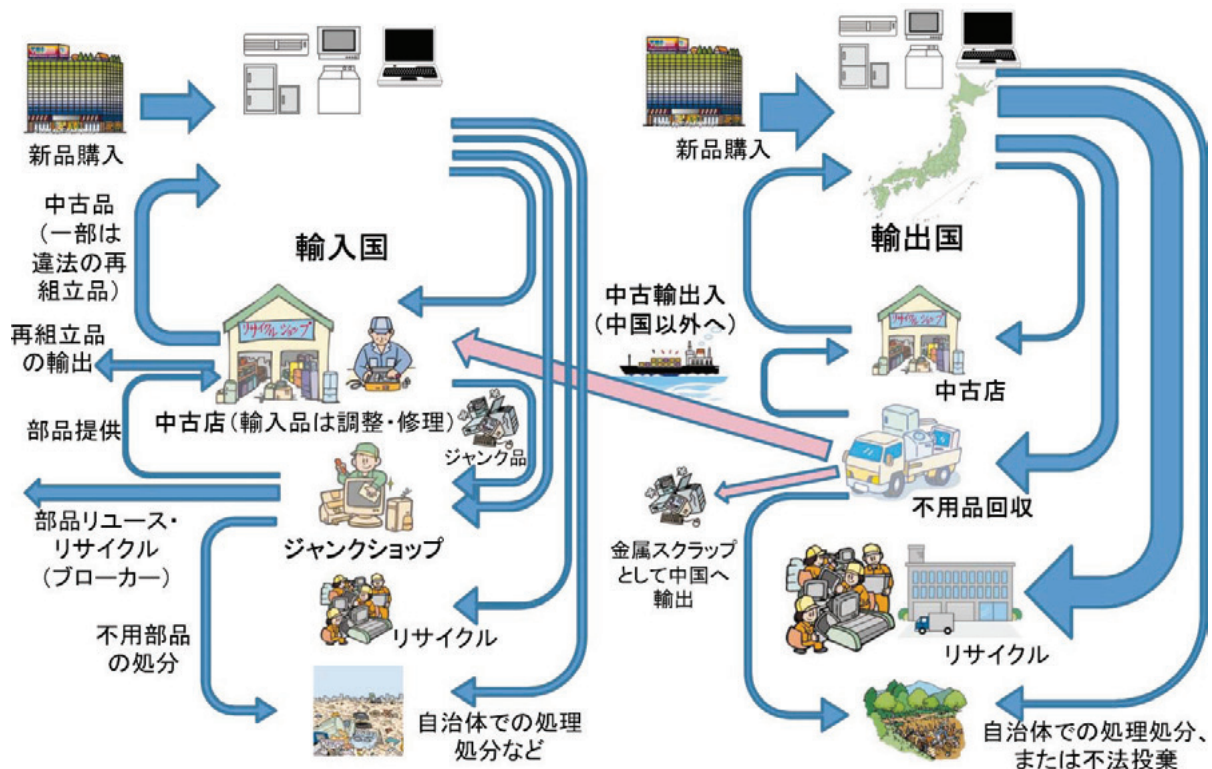


図 中古電気電子機器の輸出入を含む、輸出国と輸入国でのフロー全体のイメージ
 注：輸入国はフィリピンをイメージしているが、太さは量の概略であり品目によっても異なる。
 寺園 (2013) 生活と環境, 58 (4), 42-48を一部修正

来は配慮する必要があります。日本や世界での中古品輸出入基準は強化される方向であり、私たちもその議論に参加しています。一方、売れなかった中古品が金属スクラップに混ぜられて、中国へ輸出されて材料リサイクルされてしまうこともあります。金属スクラップの中に有害物質が含まれていたり、年に数回港湾などで火災を発生させたりするなど様々な問題があり、これらの改善策も環境省などとともに検討しています。

次に、アジア諸国内で自ら発生するE-wasteの問題です。たとえ先進国からE-wasteの輸入がなかったとしても、現代ではどのアジア諸国でも電気電子機器は利用され、いずれ廃棄されます。途上国でのパソコンなどのE-waste発生量がまもなく先進国を上回るという予測もあり、越境移動と切り離しても、アジア諸国内での適正なりサイクルを考える必要があります。中国のように環境汚染の指摘に対処したり発生量が大いいためにリサイクル制度ができた国もありますが、ベトナムやフィリピンのようにE-wasteのリサイクル制度はまだないか検討中という国も多いです。制度や技術が十分でない国に対して、日本は経験や技術を提供することが求められています。このとき、アジア諸国内では使用済みの電気電子機器が「ごみ」ではなく経済的には「有価物」として流通し、回収業者を通じて小規模のリサイクル事業者（インフォーマルセクタ）に至っているという現状を十分認識しなければなりません。すなわち、アジア諸国で適正なりサイクル業者にE-wasteを集めるためには、補助金などを含めて回収の仕組みをよく検討する必要があります。

さらに、別の形で日本の貢献の方法もあります。すべてのアジア諸国において、適切なE-wasteリサイクルの制度や技術を早急に整備することは現実的ではありません。しかし、日本国内には高度な技術を有する非鉄製錬業者があり、既に電子基板などの

E-wasteの輸入は一部で始められています。電子基板やケーブル類は有害性と資源性を併せ持つものであり、不適正なりサイクルによって有害物質が発生する一方で、日本の非鉄製錬業者が輸入して資源として高効率で再利用することが可能になります。適切な越境移動のために輸出入両国で手続きの見直しなどの課題はありますが、E-wasteの輸入をさらに進めることが国際貢献の方法として国においても検討されており、私たちもその支援を行っています。

以上の問題意識で、私たちは「循環型社会研究プログラム」のプロジェクト1「国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理」を実施しており、今月号の特集でご紹介します。滝上室長はこのプロジェクトの中で海外のフィールド研究に関するリーダーを務めていて、フィリピンでのE-wasteリサイクル現場における重金属および希少金属の環境濃度を調査し、健康リスクを評価している研究事例を紹介します。鈴木研究員はベトナム北部において、2011年から同じ地点で継続調査している様子を記しており、リサイクル施設や野焼き現場周辺での重金属やダイオキシン類濃度が高い事例と周辺の水田への影響が懸念されます。また、重金属やダイオキシン類だけでなく、電気電子機器などに含まれる難燃剤も管理が必要な化学物質として規制されており、梶原主任研究員がその使用時や廃棄時の挙動について解説しています。

(てらぞの あつし、資源循環・廃棄物研究センター副センター長)

執筆者プロフィール：

今年2月の秋田出張では廃止直前の寝台特急「あけぼの」を利用しましたが、安全で速過ぎない移動手段のリタイヤが惜しまれました。私ももうアラフィフです。周囲に感謝しながら、まだ動けるうちに少しでも人の役に立つ研究や仕事を続けたいと思います。



●特集 アジアのE-wasteリサイクルを通じた資源と有害物質の管理●

【シリーズ重点研究プログラムの紹介：「循環型社会研究プログラム」から】

海外E-wasteリサイクル現場における 重金属および希少金属の環境中濃度と健康リスク

滝上 英孝

開発途上国へは、日本をはじめ世界各国から中古および使用できなくなった電気電子機器製品が多く流入しています。それら製品の再利用および有価金属回収を目的としたE-wasteリサイクル現場においては、作業環境や周辺環境の重金属汚染の実態が明らかになってきています。人（作業員）の健康影響に与える曝露媒体のひとつとしては、E-wasteの解体・破碎等の工程で発生する重金属を高濃度に含んだダストが挙げられています。また、E-waste中には重金属以外に希少金属（希少な非鉄金属を指し、耐腐食性や高機能性といった有用性をもつ）も使用されていますので、希少金属の関連環境媒体中での濃度を調べ、健康リスクを評価することは新しい研究トピックとして注目されています。本稿では、フィリピンのE-wasteリサイクル現場の周辺土壌および作業環境ダスト（2010年の調査時に採取したもの）の重金属9種（ヒ素（As）、カドミウム（Cd）、銅（Cu）、コバルト（Co）、鉄（Fe）、マンガン（Mn）、ニッケル（Ni）、鉛（Pb）、亜鉛（Zn））および希少金属2種（銀（Ag）、インジウム（In））の濃度レベルの評価を行いました。E-wasteリサイクル現場としては、正規企業の工場（フォーマルサイト）および非正規・小規模のジャンクショップ（インフォーマルサイト）をそれぞれ複数箇所調査しました（図1）。

図2（a）にフォーマル、インフォーマルサイトにおける周辺土壌、作業環境ダスト中の金属元素の濃度レベルを示します。濃度レベルの低い元素（CdやAsといった数～数十mg/kgといった濃度レベルのもの）から高い元素（Feのような 10^4 mg/kg = 1%程度のレベルのもの）の順にデータを並べています。フォーマル、インフォーマルサイトともに作業環境ダスト中の8元素（As, Cd, Ag, Ni, Zn, Pb, Cu, Fe）の濃度は周辺土壌に比べて統計的に有意に高く、2元素（Co, Mn）については、有意差は認められませんでした。一方、Inはフォーマルサイトの土壌およびダストのみで検出され、その濃度は10～100 mg/kgの範囲にありました。一方、こういった金属元素の検出濃度の高低だけでは、土壌やダストがE-wasteリサイクル活動によって汚染されているのかどうかは分かりません。E-wasteリサイクルによる汚染のないと考えられる対照土壌試料や地殻元素濃度との相対比較を行って判断する必要があります。図2（b）に金属元素濃度の地殻濃度比を示します。地殻濃度比はMnについて1と定めて（基準化といいます）、他の元素での地殻濃度比が計算されています。地殻濃度比が1に近ければ、リサイクル等の人為活動の影響を受けていないという目安になります。図を見るとFeやCo、Asについては地殻濃度比が1付



図1 フィリピンで調査を行ったE-wasteリサイクルサイト
左：フォーマルサイトにおける製品解体の様子、右：インフォーマルサイトにおける基板解体の様子

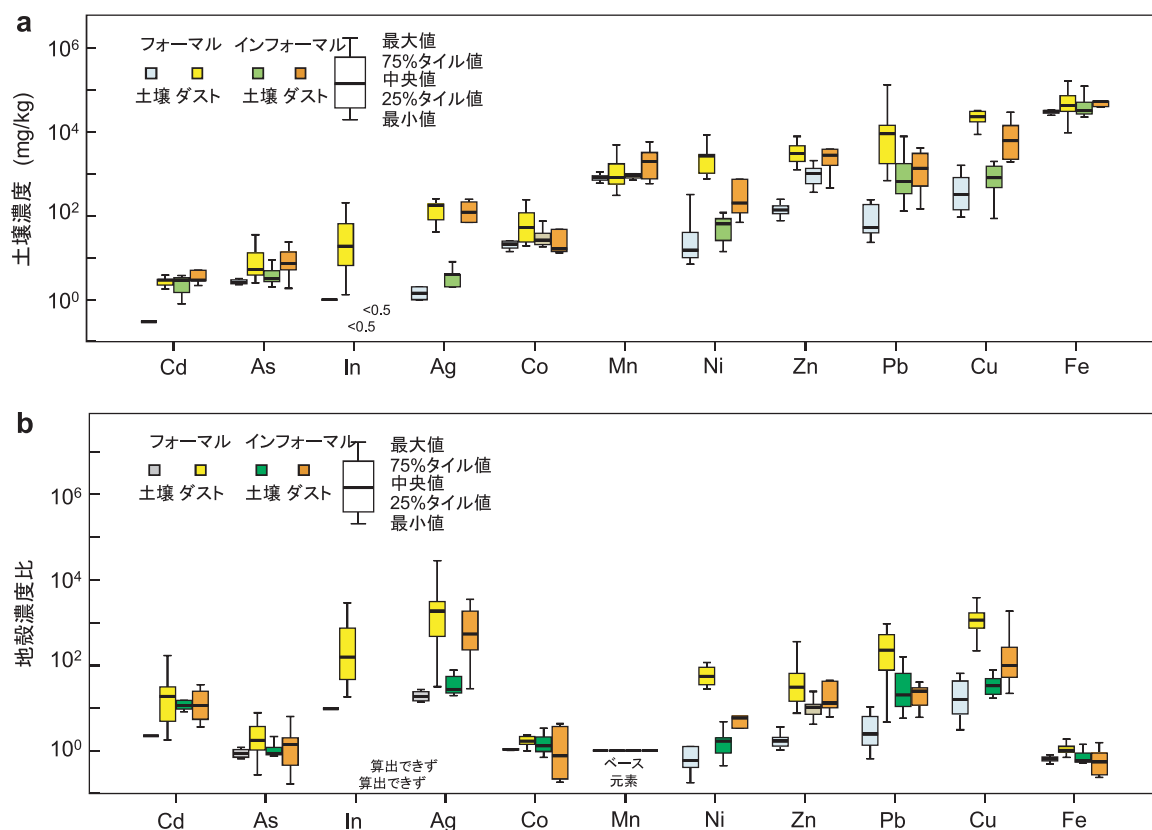


図2 フォーマル/インフォーマルサイトにおける作業場ダスト及び敷地内土壌中の11金属元素濃度 (a) と地殻濃度比 (b)

近に分布しており、リサイクル活動の影響を受けていないことがうかがえます。その一方、CuやPb、Znといった元素については、フォーマル、インフォーマルサイトの土壌、ダストの多くで10倍から1,000倍程度の濃度比となっており、人為的なリサイクル活動の影響を受けていることがわかります。AgおよびInといった希少金属についてもダストに濃縮されていることがわかりますが、Inについてはフォーマルサイトの作業環境ダストのみから特異的に検出されています。Inは液晶ディスプレイや太陽光パネルの透明電極に使用されており、高価な元素として知られていますが、インフォーマルサイトにおいてはその回収が難しいため、余り取り扱われていないものと考えられます。

このようなリサイクル現場の作業環境において作業者がダストを摂取（経口摂取）した際の健康リスク評価について、試算を行ってみました。アメリカ環境保護庁（USEPA）において経口摂取しても健康リスクを及ぼさない量（oral reference dose; RfD）が金属元素別に定められており、実際の作業者の推定摂取量とRfDの比を取ってハザード比（hazard quotient）を求めてその大小でリスク評価を行います。

例えばハザード比が1より小さければリスクは十分小さく、1～5であれば低リスク、10を超えれば高リスクといったカテゴリー分けになります。インフォーマル、フォーマルサイトの成人作業場でハザード比を各金属元素（Ag, As, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn）について求めて合計すると、その値はそれぞれ作業者群の中央値として1.4、4.6という値になりました。もし、子供が就労していた場合は、ハザード比の合計値は大人よりも1桁高くなり、健康リスクは相当に高いことになります。また、意外と思われるかも知れませんが、インフォーマルサイトよりもフォーマルサイトにおける作業環境ダスト摂取による健康リスクが高い傾向にあり、閉鎖性の高い建屋での管理を行っているフォーマルサイトでは作業環境ダストにおける金属元素濃度が高くなる可能性があります。したがって、換気空調や粉じん防護等の作業環境対策が重要になると考えられます。ハザード比によるリスク評価には含めていませんが、今回の調査でフォーマルサイトから検出されたInは前述したように液晶等に汎用されており、インジウム・スズ酸化物（ITO）として使用されています。このITOは強い肺毒性があり、間質性肺炎や肺線維症を引き起

●特集 アジアのE-wasteリサイクルを通じた資源と有害物質の管理●

こすことが知られており作業者の死亡例も報告されています。Inは、ハザードの高い希少金属として、今後もそのリサイクル挙動や環境動態、曝露に焦点を当てた研究を進めてゆく必要があると考えられます。

本稿では、開発途上国（フィリピン）での調査例を挙げて、電気電子機器製品のリサイクル活動に伴う局所的な金属類の環境汚染について触れました。重点研究プログラムを通じて、ベトナムなど他国にも調査フィールドが広がっており、金属類に限らず、臭素系難燃剤等も含めた分析体制で取り組むとともに、時系列的な物質代替や廃製品の越境移動といった観点も意識して研究を実施しています。最後に金属類について結言すれば、従来型の重金属類による汚染以外に、汎用される製品のハイテク化等により、E-wasteリサイクル現場で扱われ、問題となる金属元素群が今後大きく変化する可能性もあり、国内外ともに電気電子機器製品のライフサイクルを見据え

た調査が継続的に必要であると考えられます。なお、本成果は「循環型社会研究プログラム」プロジェクト1「国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理」と分野横断型提案研究「汎用IT製品中金属類のライフサイクルに着目した環境排出・動態・影響に関する横断連携研究」に関連して得られたものであることを記します。

(たきがみ ひでたか、資源循環・廃棄物研究センター
ライフサイクル物質管理研究室 室長)

執筆者プロフィール：

受験期の知識が30代で「リセット」され、マネジメント業務が多くなった現在は、20-30代で身に付けた実験研究者としての感覚が薄らぎつつある……。第3の中興の波が必要だと、同世代で話合っているところ。興味と熱意があればできるはず、手を動かす時間をしっかり確保していきたい。



【研究ノート】

E-wasteリサイクル活動に伴う
製品由来化学物質の周辺環境への拡散と集積
ーベトナムでの調査事例からー

鈴木 剛

私たちは、家電を含む電気電子機器を日々の暮らしの中で使用しています。テレビを見たり、パソコンでインターネットをしたり、スーパーで買ってきた食品を冷蔵したり、衣類を洗濯・乾燥したり・・・など、電気電子機器は誰にとっても日常生活に欠かせないものです。当然、製品として寿命を迎えて代替品を購入することや、新しいデザインや機能がついた新製品を購入することもあるでしょう。ここでは、その際に手放した家電製品を含む廃電気電子機器（E-waste）に関係する話題を紹介したいと思います。

リサイクルされるE-waste

E-wasteは、鉄や銅等の貴金属やレアメタル等の有用資源を含んでいるので、これらを回収するためにリサイクルが行われています。具体的には、資源有効利用促進法（資源リサイクル法）と特定家庭用機器再商品化法（家電リサイクル法）が平成13年4月から施行され、パソコン、家庭用エアコン、テレビ、冷蔵庫や洗濯機等の再資源化が進められています。平成25年4月から施行された使用済小型電子機器等の再資源化の促進に関する法律（小型家電リサイクル法）では、デジタルカメラやゲーム機等の小

型電子機器が対象とされています。携帯電話についても、携帯電話リサイクル推進協議会によって、国内でのリサイクルが取り組まれています。

E-wasteに含まれる有用資源は、含有割合（濃度）が天然鉱石よりも高く、加工を経て使用されているため高品質であり、官民一体となった適切なリサイクルが今後も推進されていくでしょう。**E-waste**の適切なリサイクルは、有用資源を有効に活用するだけでなく、最終処分場に埋め立てる廃棄物の減量や、天然鉱石の採鉱の抑制による省エネルギー・省CO₂・省資源に繋がるため、環境保全に貢献すると考えられます。

不適切なリサイクルによる環境汚染

一方、現状では残念ながら不適切なリサイクルも行われています。環境省によると、一部の**E-waste**については、違法な不用品回収業者によって、国内で環境対策を講じないでスクラップ化され海外へ輸出されたり、リユースと偽って輸出され海外で不適切にスクラップ化されたりしてリサイクルされ、環境汚染を引き起こしています。**E-waste**の不適切なリサイクルに伴う人の健康や環境への影響は、日本も輸出国として関わるアジア途上国等で、少なくとも2000年頃から国際問題となっています。2007年には、アメリカ化学会が発行している“**Environmental Science & Technology**”誌の環境ニュースで、“**E-waste creates hot spots for POPs (E-wasteが残留性有機汚染物質のホットスポットを生じさせる)**”と題して香港バプティスト大学のフィールド調査が取り上げられ、中国での**E-waste**リサイクルに起因する製品由来化学物質による汚染問題が明るみに出ました。

資源循環・廃棄物研究センターでは、日本から**E-waste**や関連スクラップが輸出されている状況を鑑

みて、アジア途上国で行われている不適切な**E-waste**リサイクルの現状やリサイクル活動の周辺環境に与える影響を調査しています。日本から輸出された**E-waste**とそれに起因する環境汚染の関連性を定量的に把握することは困難ですが、日本も関わるアジア途上国での**E-waste**リサイクル問題の改善や解決に繋がる調査を目指しています。これまでに、タイ、フィリピン、インドネシアやベトナムなどを訪れ、リサイクルの現状を調査し、作業員への化学物質曝露実態を明らかにしてきました。ここでは、現在実施しているベトナムでの調査事例について紹介します。

ベトナムでのフィールド調査

私たちは、2011年1月にベトナム北部のハノイ市近郊で**E-waste**リサイクル村（フンイエン省ミーハウ地区内の集落）の存在を確認し、愛媛大学やハノイ自然科学大学の研究者、リサイクル村の協力者のサポートのもと、2012年1月から当該地域を対象とした複数年計画のフィールド調査を実施しています。ここでは約250世帯1,000人程度が居住しており、主な産業として稲作に加え、**E-waste**リサイクルが行われています。通年**E-waste**リサイクルを実施している施設もあれば、二期作の合間にリサイクルを行う施設もみられ、施設の規模は様々ですが、**E-waste**リサイクルは産業として根付いています。

現地でのヒアリングによると、ここでは、2000年頃から、パソコン、テレビ、ビデオプレーヤー、携帯電話などの**E-waste**のリサイクルを行っており、収集、保管、解体、プラスチック、金属の分別回収やケーブル等の野焼きによる銅回収が行なわれています（写真1、写真2）。再資源化された金属やプラスチックは国内で再利用するだけでなく、中国へ



写真1 ベトナム北部におけるE-wasteリサイクルの様子

左：搬入される電子基板、中央：施設周辺で保管されるブラウン管ガラス、右：解体される電子基板

●特集 アジアのE-wasteリサイクルを通じた資源と有害物質の管理●



写真2 銅回収を目的としたケーブル等の野焼き
左：水田あぜ道に並べられるケーブル、中央：燃料を投入して燃やされるケーブル、右：銅回収のために燃焼残渣を水洗する様子



写真3 現地調査時に散見される日本製品の一例

と輸出されているようです。中国で銅の需要が高まった時期にあわせて、銅回収を目的とした野焼きが活発化する状況も把握でき、輸出先の需要によってリサイクル活動が大きく変わることも調査から理解できました。フィールド調査では、日本語で説明書きされているE-wasteも散見され、アジア途上国でのE-wasteリサイクル問題と日本の関連性がみてとれました(写真3)。

リサイクル活動と製品由来化学物質の関係について

2012年1月の調査では、E-wasteリサイクルに伴う周辺環境影響を調査するため、当該地域の居住区とその周辺に広がる水田地帯の3.0 km×1.2 kmを対象として、水田あぜ道、E-wasteリサイクル施設近傍やケーブル等の野焼き現場から表層土壌を、村の中心部を流れる河川でE-wasteリサイクル施設の上流

から下流にかけて河川堆積物を、それぞれ採取しました。輸入禁止品に該当するため農林水産大臣の輸入許可を取得して採取試料を日本に持ち帰り、E-wasteに関連する製品由来化学物質の分析を実施しました。

表層土壌と河川堆積物で得られた結果のうち、一例としてケーブル等に含まれる銅、電子基板のはんだに含まれる鉛、主要難燃剤としてパソコンやテレビに使用されているデカブプロモジフェニルエーテル(BDE209)、不適切なりサイクルを通じて非意図的に生成するダイオキシン類緑化合物の分析結果を図1と図2に示します。いずれの化学物質についても、リサイクル施設近傍で採取した試料や、ケーブル等の野焼き現場周辺で採取した試料で高濃度に検出される事例がみられました。施設周辺では、部分的に解体されE-wasteが野ざらして保管されていることが多く、銅や鉛、難燃剤が雨水による流出や剥離等を通じて環境中に移行していることが考えられます。野焼き現場周辺では銅が高い場所でダイオキシン類緑化合物も高い傾向であり、これはケーブル等の野焼きによって銅を触媒としてダイオキシン類が生成していることを示しているのでしょうか。図示していませんが、施設周辺では、臭素化ダイオキシン類が塩素化ダイオキシン類よりも高くなっており、BDE209等の臭素系難燃剤に不純物として含まれる臭素化ダイオキシン類による汚染が明らかでした。

概して、製品由来化学物質は、E-wasteリサイクル活動域に集積しており、限定的な拡散であることがデータとして示されました。これらの結果については、ワークショップ(2013年1月に開催)を通じて現地協力者や行政組織に情報還元しており、今後も継続していく予定です。

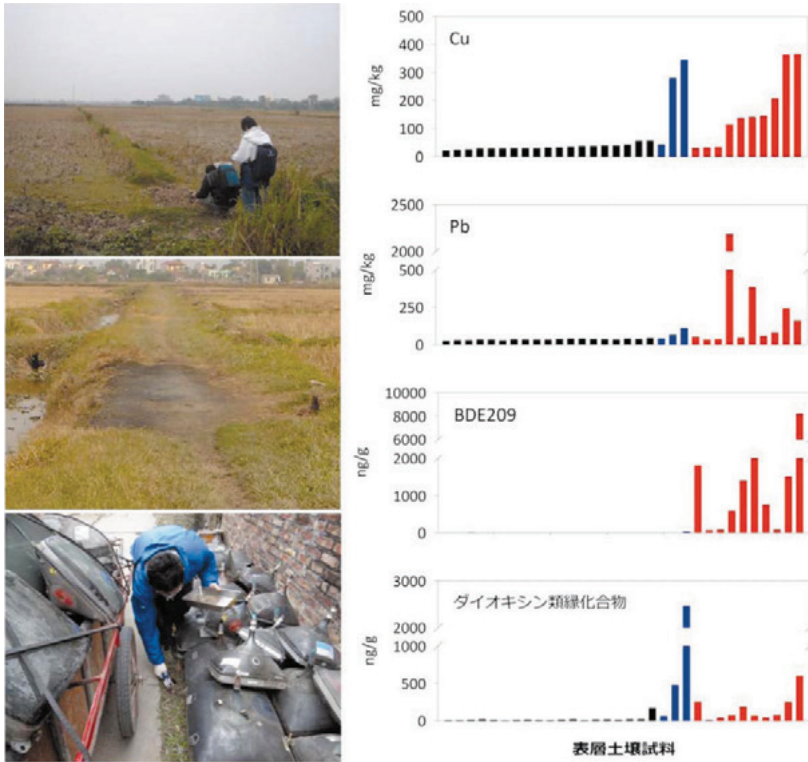


図1 表層土壌中の製品由来化学物質の分析結果の一例
 写真上：水田あぜ道 (■)、写真中央：ケーブル等の野焼き現場近傍 (■)、写真下：E-wasteリサイクル施設近傍 (■)

これからのこと

現在、私たちは、2013年1月と2014年1月に同じ場所から同じ試料を採取して、リサイクル活動に伴う製品由来化合物の汚染実態を継続して調査すると共に、その傾向の短期的推移を評価しています。これに加え、大気降下物を捕集して汚染の拡散を評価することや、リサイクル活動によって環境中に移行した製品由来化学物質の人への曝露経路や曝露量の実態調査も行っていきます。これらベトナム調査の結果に基づいて、E-wasteリサイクルを通じた製品由来化学物質による汚染の構造を把握し、アジア途上国で持続可能なリサイクルを進めていくための要点を整理して、E-wasteの環境上適正な管理の枠組み構築に貢献できるような取り組みを行いたいと思います。

(すずき ごう、資源循環・廃棄物研究センター ライフサイクル物質管理研究室)

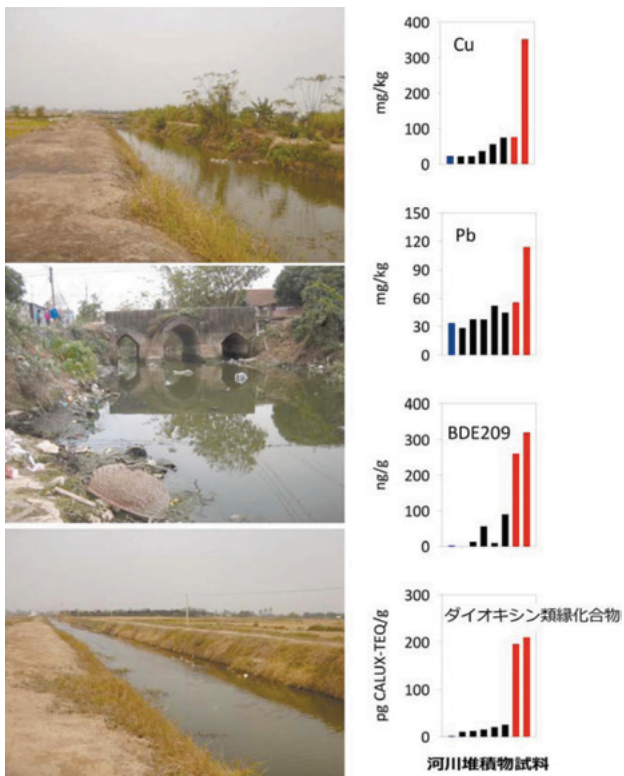


図2 河川堆積物中の製品由来化学物質の分析結果の一例
 写真上：E-wasteリサイクル施設上流 (■)、写真中央：E-wasteリサイクル施設近傍 (■)、写真下：E-wasteリサイクル施設下流 (■)

執筆者プロフィール：

学生時代から強めのお酒を飲むのが好きです。そのお陰かアルコール耐性がつき、ベトナム調査でも大いに役立っています。現地協力者との昼食時には、ベトナムウオッカでの乾杯がつきものですが、ショットグラスを飲み干すほど、その後の調査がスムーズになりました。



●特集 アジアのE-wasteリサイクルを通じた資源と有害物質の管理●

【環境問題基礎知識】

製品中臭素系難燃剤の使用時及び廃棄後の挙動

梶原夏子

化学物質は、私たちが生活していく上でなくてはならないものですが、その一方で安全性に関する社会問題が生じる場合があることもまた事実です。安全な社会をつくるためには、化学物質のリスクをきちんと理解し、管理または削減する努力をすることが重要です。有害性が認知された化学物質は国際的に規制され、生物や環境へのリスクを低減するために、生産・使用が禁止されたり、新たな使用に制限がかかるなどの措置が取られます。しかしながら、既に使用下にある製品が回収されるとは限らないため、規制物質含有製品の使用が継続する場合があります。たとえば家電製品や家具などは製品寿命が長く、家庭などに長期間とどまることから、使用時の製品からヒトへの化学物質曝露の評価は重要です。また、どのような製品であってもいずれは寿命を迎えて廃棄されることとなりますが、その際に、焼却や埋め立て、リサイクルに伴って規制物質が環境に放出される可能性を最小限に抑える必要があります。つまり、ある化学物質の規制が始まり、より安全と考えられる別な物質への代替化が進んだとしても、使用中の製品からの当該物質の曝露および廃棄物処理という課題は残ることになります。

資源循環・廃棄物研究センターでは、製品使用時および廃棄後のリスク管理を考える上で重要なケースを抽出して実態調査および実証試験を進めています。ここでは、製品中有害物質の例として、ポリ臭素化ジフェニルエーテル（PBDEs）およびヘキサブロモシクロドデカン（HBCDs）という二種類の臭素系難燃剤（BFRs）を取り上げたいと思います。難燃剤とは、プラスチックや化学繊維など可燃性素材を燃えにくくし、火災被害の軽減をはかるために添加される化学物質の総称で、臭素系、塩素系、リン系、無機系など多くの種類があります。今回ご紹介するPBDEsは主にテレビやパソコンなどの電気製品に、HBCDsはカーテンや建築用断熱材の防火加工に使用されているもので、どちらも近年、ポリ塩素化ビフ

ェニル（PCB）類や塩素化ダイオキシン類などと同様の管理が必要な物質として国際的に使用規制が強化された物質です。

化学物質のヒトへの曝露ルートは、その物性および使用用途などによって大きく異なります。環境に排出されたある種の有害物質は生態系に蓄積され、食物連鎖を経て我々ヒトへは主に食べ物という形で曝露されます。その代表例がPCB類や塩素化ダイオキシン類、有機塩素系農薬です。一方、PBDEsやHBCDsについてヒトへの摂取量を見積もったところ、食品に比べて室内ダストからの寄与が大きい結果が各国の調査で得られています。つまり、ヒトへのBFRsの曝露量を低減するには、一日の大半を過ごす室内環境で使用されている製品に由来する直接曝露の実態を明らかにする必要があるということです。

難燃剤の室内放散としては、1) 室内設置製品からの揮発、2) 難燃化素材そのものの剥離、3) 難燃化素材に付着したダストへの直接移行、という少なくとも三つの経路が考えられます。製品からの揮発については、異なる温度域で製品素材からどれくらいの量のBFRsが放散されるかといった調査を行い、室温であってもPBDEsやHBCDsがテレビケースや防災カーテンから放散されること、高温になるほど放散量が増加することを実測しています。BFRsは臭素原子を有していることから質量数が大きく、蒸気圧が低いいため、その多くは製品から放散されると室内空気よりはむしろ室内の壁や床、ダストに吸着して存在していると考えられます。室内ダストを測定するとともにPBDEsやHBCDsが検出されることから、いずれかの、もしくは複合的な経路により製品からこれら物質がダストに移行していることは明らかといえるでしょう。手に付着したダストを口に運ぶことからBFRsを摂取してしまうわけですから、とくに乳幼児へのリスクを低減させるためには、ダストの除去と換気が効果的な手段となります。

それでは、製品にいったん添加されたBFRsはどれほど安定なのでしょう。一般的な環境で製品を使用している間にBFRsの化学構造が変化する可能性はないのか調べるため、PBDEsが添加されたテレビケースや防災カーテンを太陽光に曝露させる試験を行いました。すると、もともと製品中には入っていなかった成分の生成が認められ、そのことにより生物蓄積性や毒性が増すこともわかってきました。このことは、製品使用時の紫外線照射によって化学物質のリスクが経時的に変化することを示した一つの事例ですが、PBDEs含有製品の廃棄後のリスクを考える上でも重要な知見といえます。

製品廃棄後のBFRsの挙動としては、規制物質含有製品が最終処分された場合もしくは不法投棄などで屋外に放置された場合の環境影響の程度を把握する必要があります。そのため、破碎した各種製品を純水と一定時間混和させてBFRsの水への溶出量を調べる試験（溶出試験）や水中のBFRsが土壤に吸着するか調べる試験（土壤吸着試験）を実施しています。その結果、難燃製品は雨水や地下水等との接触によりPBDEsやHBCDsを溶出すること、また、溶出したBFRsは土壤に吸着されやすいことが示されました。水中の有機物含有量が高いとPBDEs等の溶出が促進されるとの報告があることから、食品廃棄物等の有機物も投棄されている途上国のごみ集積場

においてはBFRsの環境排出の程度がより深刻な可能性があります。

本号で特集している通り、途上国では、法整備が遅れている、もしくは効果的に機能していないなどの理由から、E-wasteが不適正に処理されている場合があり、周辺環境や作業員、近隣住民への健康影響を懸念する報告が相次ぎ、国際的に大きな問題となっています。ところが、日本国内に目を向けると、各種リサイクル法が整備され使用済み製品の処理責任が明確化され、リサイクルが推進されてきているにもかかわらず、家電製品やパソコン、自動車などの不法投棄があとを絶ちません。投棄の規模や種類に大小はあると思いますが、その要因や背景を整理するとともに、局所汚染を引き起こす可能性がある現場を丁寧に調査する必要があると考えています。

（かじわら なつこ、資源循環・廃棄物研究センター
ライフサイクル物質管理研究室 主任研究員）

執筆者プロフィール：

初めて分析したのはスルメイカ肝臓中のPCB（17年前！）。無数のピークが検出されたGCのクロマトは忘れ難い。海棲哺乳類の研究を経て、国環研入所を機に製品や廃棄物へ対象をシフト、まだまだ半人前です。



【シリーズ先導研究プログラムの紹介：「環境都市システム研究プログラム」から】

持続可能な環境都市の構築に向けて

藤 井 実

地球温暖化による気候変動の防止や、資源枯渇の回避が大きな課題になっています。先導研究・環境都市システム研究プログラムでは、社会・経済活動が集積する場所である「都市」を対象として、環境技術や環境政策について提案、評価する手法を開発し、これを利用して環境負荷の増大と自然環境の劣化を克服する、持続可能な都市の将来の姿を描くことを目的に研究を行っています。その研究範囲は多岐にわたりますが、ここではそのうちの一部、再生可能資源や未利用資源などの地域資源を活用した環境都市の計画作りについてご紹介します。

どの都市も持続可能性を高める必要がありますが、2011年に発生した東日本大震災以降、とりわけ東北地方の太平洋沿岸地域の都市を復興し、持続的に発展させることが重要な課題です。国立環境研究所は、環境と経済が調和した持続可能な環境都市の再生に役立てることを目的として、福島県の沿岸部で、宮城県との県境に接する位置にある新地町と、連携研究の実施とその成果を活用するための基本協定を、2013年3月に締結しています。この地域の化石資源の消費抑制と温室効果ガスの排出抑制に寄与する、新たなエネルギー源となり得る未利用資源や再生可能資源には、どのようなものがあるでしょうか。

まず、太陽光や風力は、再生可能エネルギーの代表的なものです。太陽光であれば晴天率が高いことが重要です。風力については安定して強い風が吹く、海岸や山の尾根などが適地となるものの、これらは新地町に限らず、どの地域にもある程度普遍的に存在しており、新地町の特徴的な地域資源という訳ではありません。再生可能エネルギーとしては、木材などのバイオマスの利用も注目されていますが、新地町で利用可能な森林資源の存在量は、それほど多くありません。

新地町に特徴的と言える地域資源は、町内に大規模な石炭火力発電所（100万キロワット×2基）が稼働している点です。また、石炭火力発電所に隣接する港湾エリアには、液化天然ガス（LNG）の受け

入れ基地が建設される予定であり、町は大きなエネルギー供給拠点となりつつあります。大型の火力発電所では大量の熱が出ています。発電するためには避けられない排熱も多いのですが、一部無駄に使われている熱を有効利用する形で、周辺の工場、温室、給湯や建物の暖房などに使用できれば、それぞれの場所での石油やガスなどの消費を抑制し、温室効果ガスである二酸化炭素の排出量を減らすことが可能です。LNGは、日本では平均的に20℃前後である大気や水の温度（環境温度と呼びます）では気体の天然ガスを、タンカーへの積載を容易にする等の目的で、マイナス160度程度に冷却して液体にしたものです。海外から日本に運ばれたLNGを燃料として利用する際には、暖めて気体に戻しますが、その際に非常に低温の熱を回収して、冷凍や冷房に利用したり、環境温度との温度差を利用して、発電に利用したりすることもできます。

ここでは火力発電所の熱利用について、化石燃料消費の削減効果の試算を行った事例を紹介합니다。一般的な石炭火力発電所では、石炭を燃焼させたガスをボイラーで熱交換して高温・高圧の蒸気を作り、これを使ってタービンを回して発電します。しかし、高温・高圧の蒸気も、容器の中に閉じ込めておくだけではタービンを回すことができません。温度・圧力の低い大気に向かって蒸気を解放し、そのときの蒸気の流れでタービンを回すことができますが、より効率が高いのは、海水などを使って蒸気を冷却して水に戻し、その際の体積変化を利用してタービンを回すことです。この時残念ながら海水に大量の熱が捨てられますが、熱（蒸気）を電気に変える際にはある程度避けられないエネルギーの損失です。海水の側は暖められるため、この温排水を活用することが考えられます。ただし、海洋環境を保全する観点から、温排水の温度は、取水した海水よりも7度高い温度範囲におさまるよう調節されており、エネルギー源としては温度差が小さく効率的ではありません。暖かい海水がそのまま利用できる魚の養

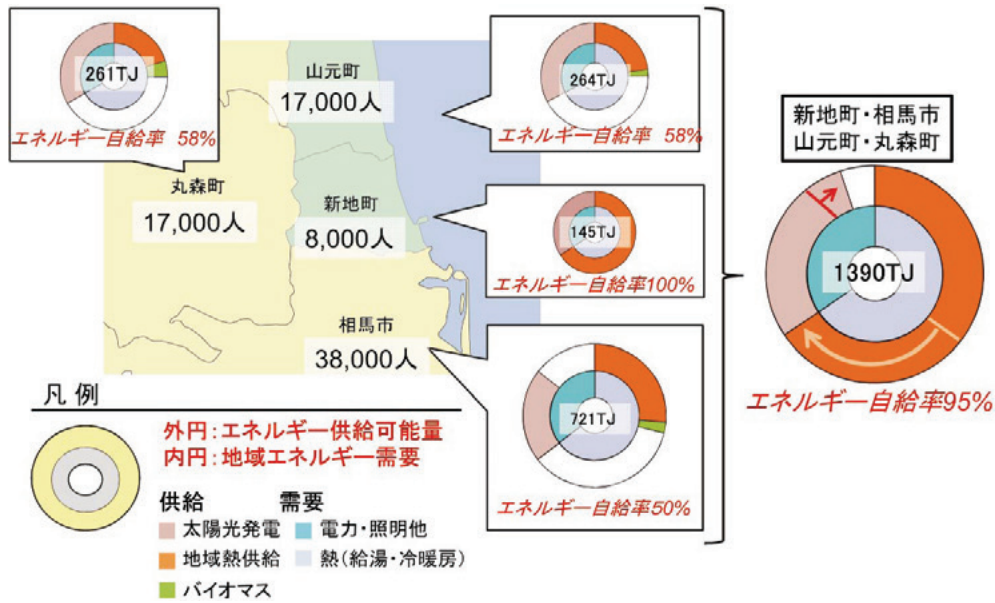


図1 新地町周辺の地域エネルギー供給ポテンシャルと需要の比較

殖などの用途に、温排水の一部が利用されています。

次に熱が出るのは、石炭の燃焼排ガスです。石炭の燃焼熱の多くはボイラーで蒸気を作るために利用されていますが、ボイラーで熱交換した後の燃焼ガスも、100度超の温度があります。その後排ガス処理の工程を経るために、冷却されたり加温されたりして、最終的に煙突から放出されます。煙突から出る際の温度は、排ガスが浮力を得て遠くに拡散されるためにも重要なので、あまり多くの熱を取り出すことはできませんが、一部の熱を熱交換によって温水に変え、1年のうち寒冷な2000時間の間だけ、近隣の温室2ヶ所（これから建設されることを想定）に輸送して利用する場合を仮想して算定しました。温室の面積は合計12ヘクタール、発電所から各温室までの距離が2kmの場合を想定し、温水の輸送に必要なポンプの消費電力、温水を配管で運ぶ際の管壁からの放熱、発電所と温室に必要な熱交換器の大きさなどを考慮しています。試算の結果、温室で1年間に約1600kLの石油の消費が削減され、ポンプの電量消費分を差し引いても、4300トンの二酸化炭素の排出削減に繋がると算出されました。ただし、排ガスの温度は約3度低下します。このように地域資源を活用するケースを複数想定してそれらの効果を算定し、全体の計画作成に役立てていきます。なお図1は、新地町周辺で地域資源がどの程度のエネルギー需要を賄い得るかを、簡単に比較してみたものです。

2013年度から新たに、東日本大震災の被災地の復興支援と環境創造に向けて、災害と環境に関する研究を行う環境創生研究プログラムが開始されました。新地町など福島県及びその周辺地域に着目した研究は、次第にこの新しいプログラムに移行しますが、環境都市システム研究プログラムでは、国内外の都市を対象に、様々な地域資源を考慮して、環境都市の将来像を描いていきます。これらの成果は、新地町等を対象とした研究にも、技術や政策の選択肢を拡大し、評価方法を提供する形で貢献します。多様な地域資源を適切に使いこなせる計画作成には、選定の際の羅針盤となるものが重要です。地域資源（エネルギーの供給側）と、需要側の適切な組み合わせを考えて導入することが重要ですが、エネルギーの質を考慮した図2のような整理が、羅針盤の役割を果たします。簡略化のために図には供給と需要の一部のみを記載しています。環境温度よりも高温であるほど、あるいは低温であるほどエネルギーの質が高く、自然界の法則としては、熱湯が冷めてぬるま湯になるように、あるいは水が解けて水になるように、質の高いエネルギーは、質の低い方（環境温度に近づく方向）へ移行します。そのため例えば相対的に高温の排熱等を、より低温の熱需要に利用するエネルギーのカスケード利用は、自然現象の流れに沿った、技術的には実施が容易な地域資源の活用策です。このとき、なるべく需給間の温度差が少ないほど効率的です。一方、工場や発電所では、化石燃料を使用していますが、プロセスに必要な

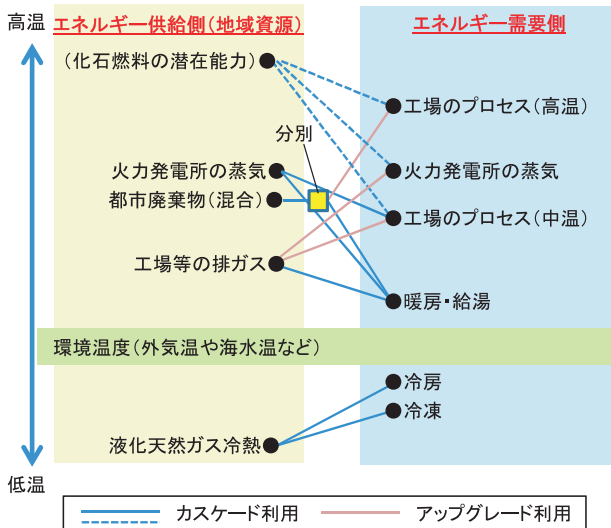


図2 地域資源を活用するエネルギー供給方策の整理
 カスケード利用：相対的に質の高いエネルギーを質の低い用途に利用、アップグレード利用：相対的に質の低いエネルギーを質の高い用途に利用

な温度がそれほど高くない場合や、温度を上げたくても耐えられる材質がない場合もあり、必ずしもそのポテンシャルを活かせていません。そのような状

況では、エネルギーとしては質の劣る地域資源を併用して、高品質な化石燃料を言わば希釈して使うことも有効です。この際、見かけ上地域資源がより質の高い形にアップグレードして用いられることになり、結果的に温室効果ガスの高い削減効果も期待されます。今は欠けている供給と需要を結ぶ線を、適切に選択しながら結んでいくことで、環境都市の計画が作成されることになります。

(ふじい みのる、社会環境システム研究センター
 環境都市システム研究室 主任研究員)

執筆者プロフィール：

今年度から環境都市システム研究プログラム、プロジェクト1のリーダーを務めています。昨年このニュースの原稿を書いた時には0歳と2歳だった我が家の子供達は、当たり前ですが1歳と3歳になり、回りの環境に適応しながらどんどん成長しています。都市の研究も様々な状況変化に対応しながら、どんどん進められればと思います。



木漏れ日痺り

5月のなかごろから初夏にかけて、構内の林の中ではノアザミがたくさん咲いています（写真1）。その蜜を求めているいろいろな昆虫がやってきます。特にチョウには人気です。アゲハとアザミという構図はいかにも絵になりますし（写真2）、モンシロチョウも定番（写真3）。ほかにもオオチャバネセセリ（写真4）、メスグロヒヨウモン（写真5）、ウラギンヒヨウモン（写真6）などなど。早々に草刈りをしてしまうとチョウはすっかり姿を消してしまいましたが、敷地の南側のアカマツ林では、7月末の草刈りまで、入れ替わり立ち代り咲く花がチョウやハチなど昆虫たちの食事場になっています。（竹中明夫）



【行事報告】

科学技術週間に伴う一般公開 「春の環境講座」開催報告

一般公開実行委員会事務局

4月19日(土)に科学技術週間に伴う一般公開「春の環境講座」を開催しました。当日は強風が吹き付ける肌寒い天候の中での開催となりましたが、多くの皆様に足をお運びいただきました。職員一同心より御礼申し上げます。

今回の「春の環境講座」では、研究所で取り組んでいるさまざまな研究分野の中から、「大気中の微粒子の動きを捉える」、「まちと工場の共生による環境まちづくり」、「『くらしアシスト』タブレットによる省エネ環境まちづくり」、「環境化学物質と健康—胎児期から生涯にわたり、また次世代に及ぶ影響—」など4つの講演会とパネルディスカッション「ココが知りたい生パネル そうだったのか地球温暖化」を開催しました。どの講座も多数の方々にご参加いただきました。



パネルディスカッション風景



大山記念ホールの展示風景

展示コーナーでは、パネル等を用いた研究者の説明に対して、熱心に耳を傾ける姿が多く見受けられ、環境問題に対する関心の高さを実感しました。

体験を通じて環境問題を楽しく理解いただく参加型イベントは、つくば市の協力を得て行ったセグウェイ試乗会や自転車による発電体験、実際にガソリンエンジンを見ながら考えていただくクイズなどを実施し多くの皆様にご参加いただきました。

また、所内ミニツアーでは、研究所内を散策しながら普段見ることが出来ない研究施設をご紹介します。

近年の環境問題に対する関心の高まりから、テレビや新聞、雑誌などからさまざまな情報が届けられ、環境について考える機会が多くなっているのではないのでしょうか。そのような中で、環境問題について国立環境研究所が取り組んでいる研究活動を、市民の皆様幅広く、わかりやすくお伝えする場を設けることは重要なことと考えており、その意味では、今回の「春の環境講座」の開催はとても有意義なことではなかったかと思っております。

今後とも私たちの研究活動をよりわかりやすくお伝えできるように工夫、努力を重ねてまいります。国立環境研究所へのご支援、ご協力をよろしくお願い申し上げます。



自転車による発電体験風景

国立環境研究所

夏の公開

「さあ漕ぎ出そう、エコ世界への大冒険！」

開催のお知らせ

一般公開実行委員会事務局

国立環境研究所では7月19日（土）に「夏の公開」を開催します。

普段はご覧になることの出来ない研究施設の公開や回収された小型家電に含まれる金属含有量について学ぶ体験コーナー、サメやタコなど磯の生き物に触れることのできるタッチプール、PM2.5について考える展示や体験、環境に関するクイズ、来場者の方々と対話する「ココが知りたい生パネル」、「化学物質と健康」と題した講演会のほか、災害環境研究への取り組みの紹介など、子どもから大人まで環境問題を一緒に考えることのできるさまざまな企画をご用意しています。また、「絵画コンテスト」の作品展示および入賞者の表彰式も行います。

開催にあたっては、環境負荷の低減のため産業技術総合研究所と協力して、つくばエクスプレス（TX）つくば駅から無料循環バスを運行するほか、JRひたち野うしく駅から国立環境研究所までの無料シャトルバスを運行します。是非ご利用ください。

皆様のご来所をこころよりお待ちしております。



開催日時：平成26年7月19日（土）9:30～16:00（受付は15:00終了）

場 所：国立環境研究所（茨城県つくば市小野川16-2）

参加方法：当日受付・参加無料（15名を超える団体については、事前にご連絡ください。）

問い合わせ先：TEL 029-850-2453

～．～．～．～．～ 昨年の様子 ～．～．～．～．～



サメやタコのタッチプール



未来の「社会」を大研究
～環境博士養成コース～

液体窒素にチャレンジ！



Excellent Research Award for Oral Presentation (Japan Society of Material Cycles and Waste Management)

受賞者：尾形有香、石垣智基、蛭江美孝、神保有亮、山田正人

受賞対象：Construction and Operation of a Pilot-scale Constructed Wetland Treating Landfill Leachate in Thailand (The 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Abstracts, 2013)

受賞者からひとこと：2014年3月10日～3月12日に開催された、3R International (The 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management) and SWAPI (13th Expert Meeting on Solid Waste Management in Asia and Pacific Islands) において、“Construction and Operation of a Pilot-scale Constructed Wetland Treating Landfill Leachate in Thailand”と題した口頭発表を行い、優秀口頭発表賞をいただきました。本研究は、タイ王国のカセサート大学との共同で研究を進めており、タイ王国のノンタブリ廃棄物埋立地に、パイロットスケールの人工湿地（植物と濾材を使用した水処理方法）を導入し、廃棄物埋立地浸出水の処理を行うことで、埋立地浸出水の水量削減と水質浄化の効果を評価しています。多くの東南アジア諸国の廃棄物埋立地では、経済力や技術力の観点より、今なお適正な浸出水管理が行われていないのが現状であります。私達の研究グループは、東南アジア諸国において、持続可能な埋立地浸出水管理の構築を目指しており、本研究もその1つとして進めております。この受賞を励みにして、少しでも環境問題の解決に貢献できるように研究を進めていきたいです。

普及賞（日本農業気象学会）

受賞者：三枝信子

受賞対象：AsiaFluxの運営を通じた陸域生態系の炭素動態研究への貢献

受賞者からひとこと：農業環境技術研究所の宮田明博士、森林総合研究所の大谷義一博士と連名で、アジア各種生態系における熱・水・温室効果ガス等のフラックス観測研究ネットワーク（AsiaFlux）の運営、アジア諸国の研究者の連携強化、観測技術の普及とその精度向上等の活動を評価していただきました。特に、国立環境研究所地球環境研究センターは、AsiaFluxの設立以来、主要な事務局機能を担ってききましたので、その活動を支えた多くの方々の働きが認められたものと考えています。

最優秀ポスター賞（HAB研究機構学術年会）

受賞者：持立克身

受賞対象：基底膜基質を用いた肝実質組織の構築、及び、ES細胞から機能的肝実質細胞への分化誘導

受賞者からひとこと：HABは、ヒト組織を用いた創薬研究（生理・薬理・毒性研究）を推進しているNPO法人です。私の基底膜基質を用いた組織構築が、ヒト組織と等価なものとして評価されたと理解しております。

2013年度堀内賞（日本気象学会）

受賞者：横田達也

受賞対象：温室効果ガス観測技術衛星「いぶき（GOSAT）」プロジェクトの推進

受賞者からひとこと：温室効果ガス観測技術衛星「いぶき（GOSAT）」は、2009年1月23日に打ち上げられた世界初かつ唯一の温室効果ガス観測専用の衛星で、5年間の定常観測を終え、さらにこれまで順調に観測を続けています。プロジェクトでは人工衛星による全球の温室効果ガスの観測データと、それを世界で初めて活用した二酸化炭素収支プロダクトを提供しました。現在は世界で唯一の衛星観測データであることから、研究協力に基づいて欧米など世界の研究者グループで研究が進められており、その定期的な情報交換の場を提供しています。GOSATの有用性を実証し、気象学と境界領域の研究を発展させたとして、当プロジェクトの推進に対して日本気象学会堀内賞をいただくことになりました。この賞はこれまでプロジェクトの推進に協力していただいた全ての研究者、技術者、事務関係者に対して授与されたものと理解しています。今後も更に当データが炭素循環研究などに役立つよう努力していききたいと思います。

新刊紹介

国立環境研究所年報 平成25年度

本年報は、第3期中期計画（平成23～27年度）の3年目にあたる平成25年度の活動状況をとりまとめたものです。研究所では、平成25年3月に第3期中期計画を変更して、災害と環境に関する研究の実施を明記し、東日本大震災からの復旧・復興に向けた調査・研究を総合的・一体的に推進しています。また、福島県環境創造センターにおける福島支部の平成28年度開設に向けて、平成25年10月1日に福島支部準備室を設置し、本格的な準備を開始しました。年報には、環境研究の柱となる8つの研究分野の概要、課題対応型の研究プログラム、環境研究の基盤整備、災害環境研究、及び各研究分野の個別研究課題について、それぞれの目的、並びに平成25年度の活動内容と成果がとりまとめられています。さらに、環境情報の収集・提供業務活動の概要、研究施設・設備の状況、研究成果発表、その他研究所の活動の全体像を知る上で役に立つ様々な資料が掲載されています。

○URL：<http://www.nies.go.jp/kanko/nenpo/h25/h25all.pdf>

環境儀No.53「サンゴ礁の過去・現在・未来～環境変化との関わりから保全へ～」

サンゴ礁は地球の表面積の0.1%の面積を占めるにすぎませんが、そこに9万種もの多様な生物が生息しており、人間に漁業資源や観光資源を提供しています。また、サンゴ礁は天然の防波堤となり、沿岸に住む人々を高波から守ります。このように人間を含めた生物に多大な恩恵を与えてくれるサンゴ礁ですが、近年、気候変動や赤土の流出など陸域からの負荷によってサンゴが減少し、急速に衰退しています。

国立環境研究所では、モニタリングやデータベースの作成を通じて、環境変化がサンゴ礁に与える影響を明らかにし、サンゴ礁の将来予測や保全策の立案を行う研究に取り組んでいます。本号では、過去から未来にかけてのサンゴ礁の変化と、それに基づく保全策について、最新の研究成果を交えながら紹介します。

また、日本では、2008年の国際サンゴ礁年を機に、ダイバー、NPOや研究者のネットワークが作られ、精力的なモニタリング活動を行っています。本号では、このような市民参加型のモニタリング調査の成果についても紹介しています。

○URL：<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/53/02-03.html>



編集後記

国立環境研究所では年2回、4月と7月に研究所の一般公開日があります。私には10才の娘がおりますが、小さな頃から両公開日には何度も参加しています。幼稚園の頃はシールや工作コーナーに釣られていたのが、次第にクイズなども楽しめるようになり、最近では学校で習う機会があるのか、研究の展示にも少しずつ興味を示すようになってきました。

一方、同僚らは随分と早くから、「何度も来てくれる人に、去年と同じとは言わせまい」と思っか思わずか、頻りに打合

せを持ち、新企画の検討・準備に取り組んでいます。もとより皆さん研究者。こだわり屋や凝り性が多いようで、そこまでやるか、とつい口から出てしまいます。

招く方と招かれる方、両方あつての一般公開なのだ、と思われされます。

今年の夏の大公開は7月19日です。暑さ対策にご注意いただき、多くの皆様のご来所をお待ちしております。 (K.T.)

国立環境研究所ニュース Vol.33 No.2 (平成26年6月発行)
 編集 国立環境研究所 ニュース編集小委員会
 発行 独立行政法人 国立環境研究所
 〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2
 TEL：029-850-2343 (環境情報部情報企画室)
 E-mail：pub@nies.go.jp

●バックナンバーは、ホームページでご覧になれます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/news/>

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙ヘリサイクル可
 本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料【Aランク】のみを用いて作製しています。